



Universidad
Carlos III de Madrid



Departamento
Tecnología
Electrónica

Fundamentos de Ingeniería Electrónica

Sesión 5: Amplificadores (Continuación).

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

<http://www.dte.uc3m.es>

Sesión 5.

Amplificadores. Continuación

1. El amplificador operacional ideal
2. Parámetros del amplificador operacional ideal
3. Amplificador operacional comercial
4. El amplificador operacional en lazo abierto: comparador
 - a. Ejemplo básico: comparando dos señales
 - b. Problema 1: Control carga de batería (para casa)
5. El amplificador operacional con realimentación negativa
 - a. Ejemplos básicos: inversor, no inversor, buffer
 - b. Ejemplos avanzados: amplificador diferencial y de instrumentación.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

<http://www.dte.uc3m.es>

dte
Tecnología

Los tipos de amplificación

| | Entra | Sale | Ganancia (unidades) | R_i | R_o | Modelo |
|--------------------|-------|------|---------------------|----------|----------|--------|
| Tensión | V | V | $A_V = V/V$ | ∞ | 0 | |
| Corriente | I | I | $A_I = A/A$ | 0 | ∞ | |
| Trans conductancia | V | I | $G = A/V$ | ∞ | ∞ | |
| Trans | | | | | | |

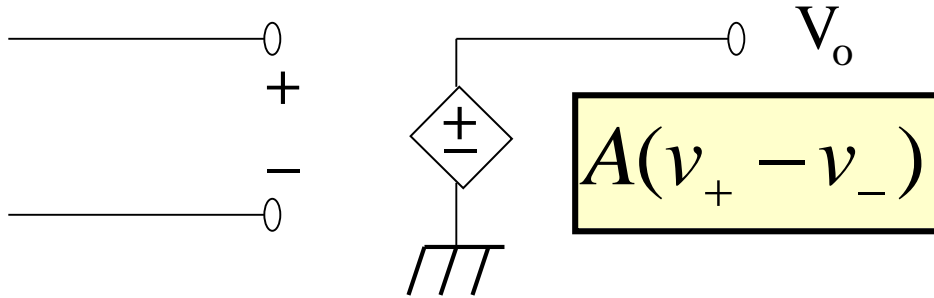
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

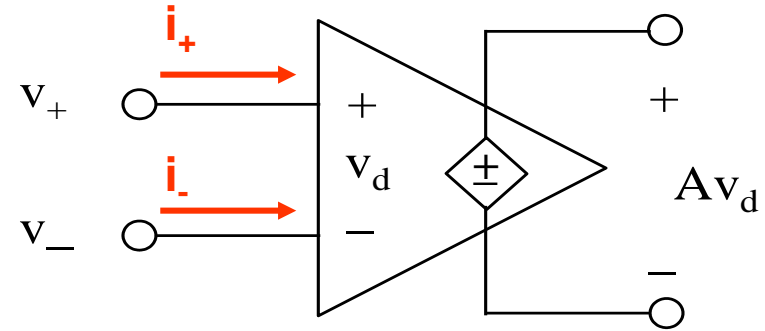
Cartagena99

El Amplificador Operacional (A.O.) ideal: Modelo

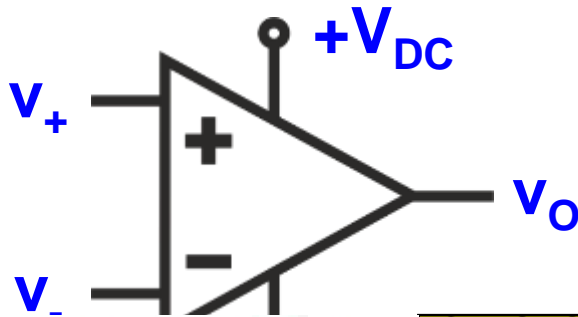
Modelo



Ideal: $i_+ = i_- = 0$



Símbolo y Terminales



Parámetros de AO ideal:

- ✓ Ganancia en lazo abierto (A_v) ∞
- ✓ Impedancia de entrada (R_i) ∞
- ✓ Corrientes entrada (polarización) 0
- ✓ Impedancia de salida (R_o) 0

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

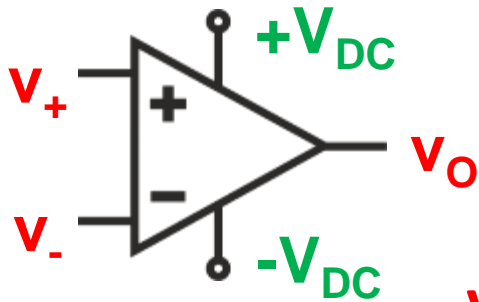
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

<http://www.dte.uc3m.es>

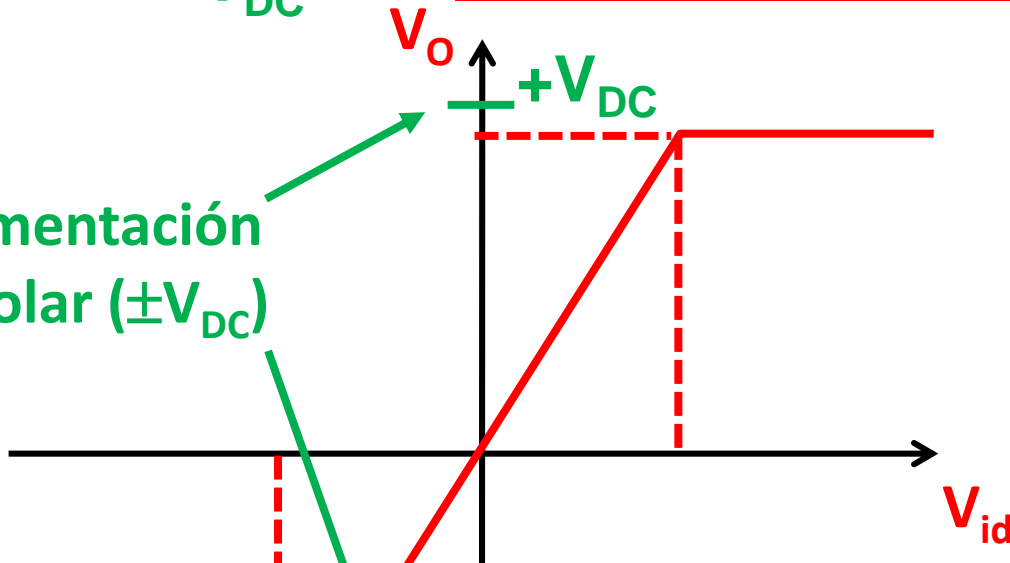
dte Tecnología

El A.O. ideal: Función de transferencia



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA LINEAL

Alimentación bipolar ($\pm V_{DC}$)



$$v_o = A \cdot v_{id}$$

- Margen dinámico de salida:

$$-V_{DC} < v_o < +V_{DC}$$



- Margen dinámico de entrada:

$$\frac{-V_{DC}}{\Delta} < v_{id} < \frac{+V_{DC}}{\Delta}$$

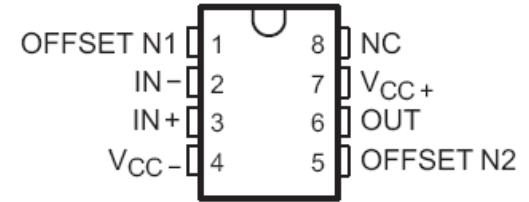
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Ejemplo AO comercial (no ideal): TL081

TL081 and TL081x D, P, and PS Package
8-Pin SOIC, PDIP, and SO
Top View

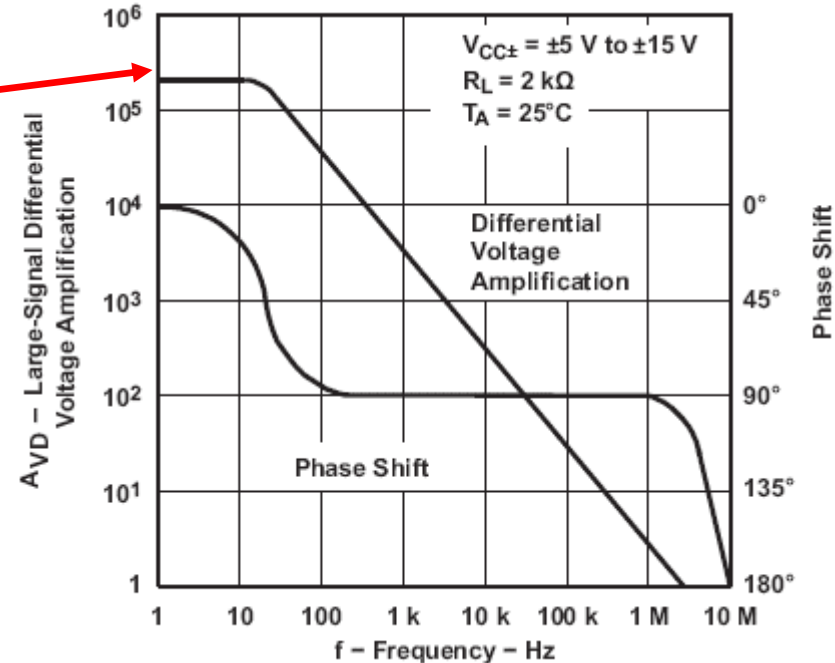


Datasheet (Hoja de características)

6.5 Electrical Characteristics

$V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | $T_A^{(1)}$ | TL081C, TL082C, TL084C | | | UNIT |
|---|--|-------------|------------------------|-----------|-----|----------|
| | | | MIN | TYP | MAX | |
| A_v Large-signal differential voltage amplification | $V_O = \pm 10\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ | 25°C | 25 | 200 | | V/mV |
| | | Full range | 15 | | | |
| B_1 Unity-gain bandwidth | | 25°C | | 3 | | MHz |
| R_i Input resistance | | 25°C | | 10^{12} | | Ω |
| CMRR Common-mode rejection ratio | $V_{IC} = V_{ICRmin}$, $V_O = 0$, $R_S = 50\ \Omega$ | 25°C | 70 | 86 | | dB |
| $i_{+/-}$ Input bias current ⁽²⁾ | $V_O = 0$ | 25°C | | 30 | 400 | pA |
| | | Full range | | | 10 | nA |



Large-Signal Differential Voltage Amplification and Phase Shift

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

<http://www.dte.uc3m.es>

dte Tecnología

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Amplificador operacional comercial TL081

$+V_{DC}$

V_{CC+}

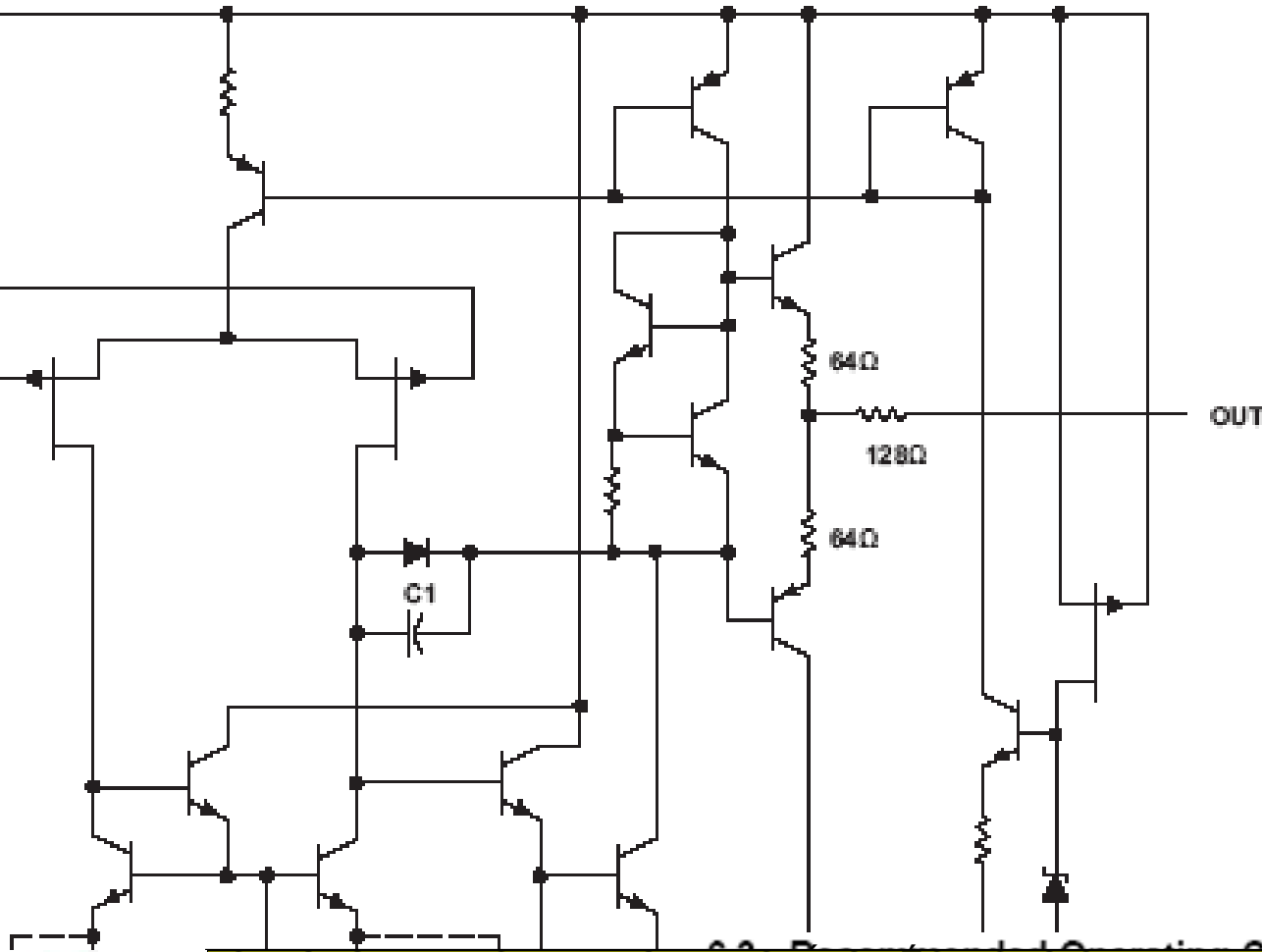
Alimentación de los transistores

V_+
 V_-

IN+

IN-

Entrada diferencial (v_{id})



Salida V_O

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

<http://www.dte.uc3m.es>

dte Tecnología

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Aplicaciones del Amplificador Operacional

- En lazo abierto:
 - Comparador
- En lazo cerrado (Realimentación negativa):
 - Inversor / No inversor
 - Buffer
 - Sumador
 - Amplificador diferencial y de instrumentación
 - Integrador, derivador

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Aplicaciones del AO en el mundo real

- Otras innumerables funcionalidades:
 - Filtros activos
 - Comparadores con umbral e histéresis
 - Osciladores, relojes
 - Amplificadores logarítmicos
 - Acondicionamiento de señales
 - Reguladores de tensión
 - Moduladores para comunicaciones

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

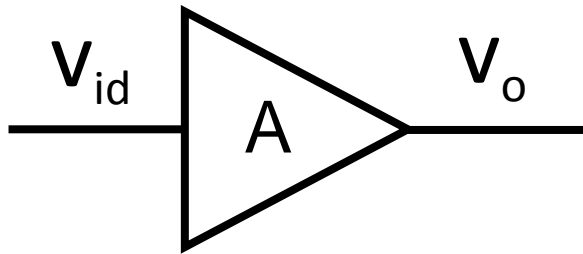
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

<http://www.dte.uc3m.es>

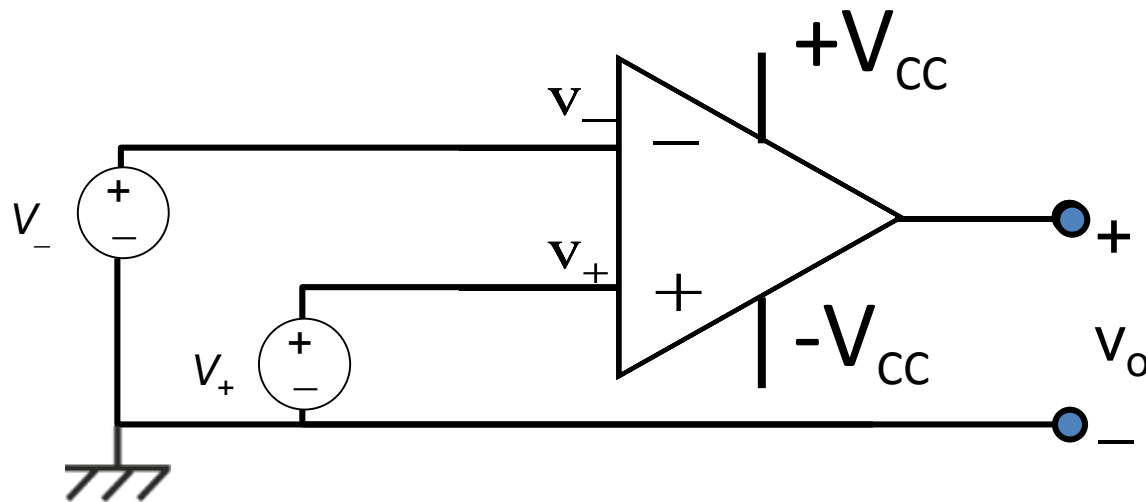
dte Tecnología

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

El AO en lazo abierto: El Comparador



$$\begin{cases} v_o = A \cdot v_{id} \\ A \uparrow\uparrow \end{cases}$$



• Si $v_+ > v_- \rightarrow v_o = A \cdot (v_+ - v_-) = +V_{CC}$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

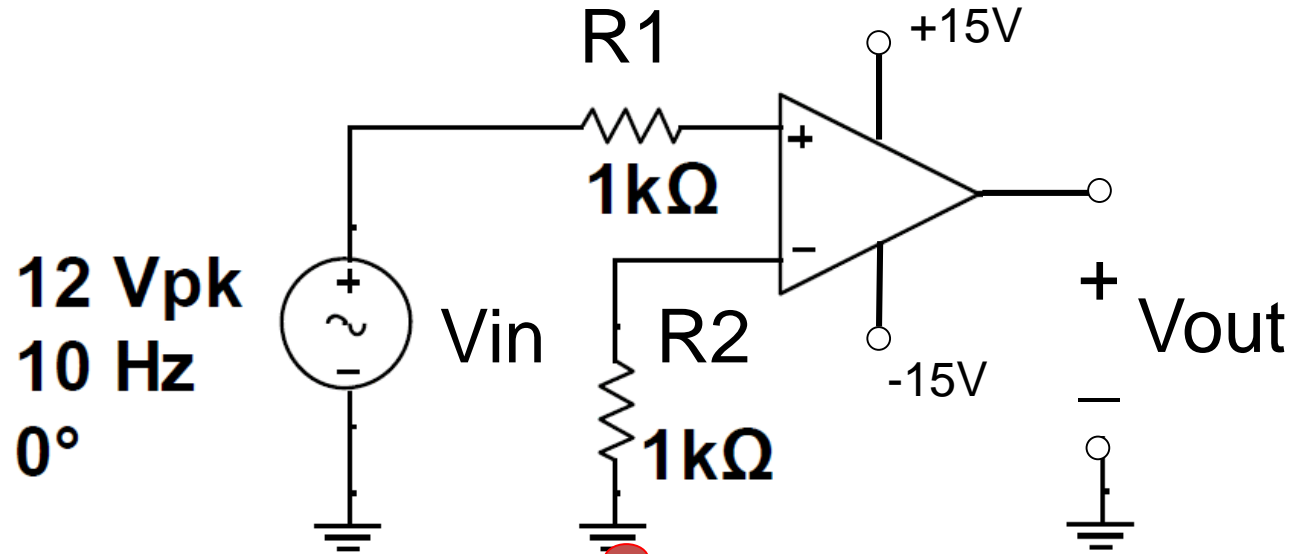
<http://www.dte.uc3m.es>

dte Tecnología

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

El AO en lazo abierto: El Comparador

Ejemplo básico: Comparando dos señales



1. Dibujar dos periodos de la salida del operacional.

2. Dibujarlos otra vez si

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

<http://www.dte.uc3m.es>

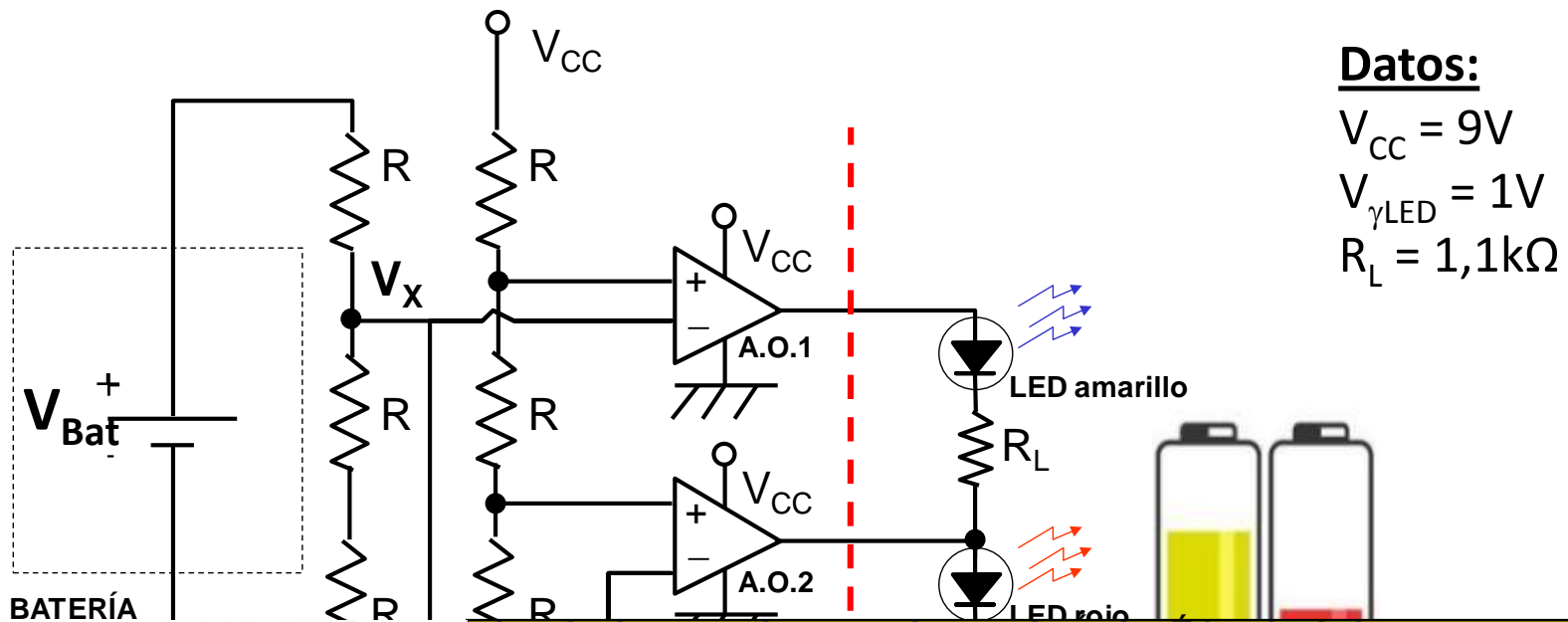
dte Tecnología

Problema 1: Control carga de batería (para casa)

Un sistema de control de la carga de una batería avisa de su estado mediante dos diodos emisores de luz (LEDs), uno amarillo y otro rojo, que se encienden según su nivel de carga (a través de su tensión V_{Bat}) respecto a un nivel nominal V_{CC} .

Se pide deducir los valores de tensión V_{Bat} a los que se enciende cada LED.

Razone en qué estado se encuentra cada LED cuando el otro esté encendido.



Datos:

$$V_{CC} = 9V$$

$$V_{LED} = 1V$$

$$R_L = 1,1k\Omega$$

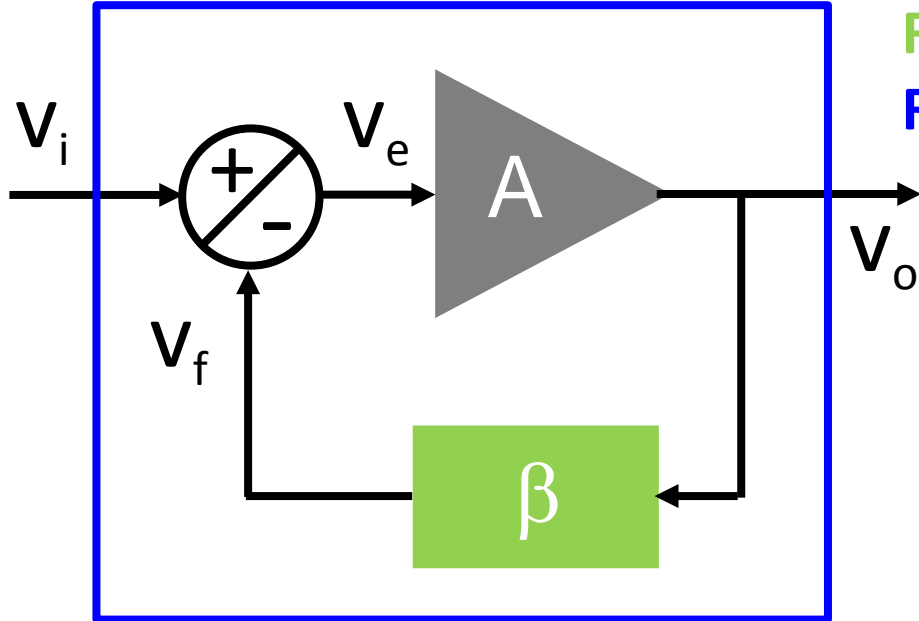
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Amplificador Realimentado



Red A: Amplificador sin realimentar
Red β : Red de realimentación pasiva
Red G: Amplificador realimentado

$$\left\{ \begin{array}{l} v_e = v_i - v_f \\ v_f = \beta \cdot v_o \\ v_o = A \cdot v_e \end{array} \right.$$

$$v_o = A \cdot v_e = A \cdot (v_i - v_f) = A \cdot (v_i - \beta \cdot v_o)$$
$$v_o \cdot (1 + A \cdot \beta) = A \cdot v_i$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

<http://www.dte.uc3m.es>

dte
Departamento de
Tecnología

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Amplificador realimentado:

$$G = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta}$$

$$\begin{matrix} \longrightarrow \\ A \rightarrow \infty \\ A \cdot \beta \gg 1 \end{matrix}$$

$$G \cong \frac{1}{\beta}$$

- La ganancia **G** sólo depende de la red β
- La ganancia es **LINEAL**

$$v_e = v_i - v_f \cong \beta \cdot v_o - \beta \cdot v_o = 0 \longrightarrow v_e = 0$$

$$\frac{v_o}{v_i} \cong \frac{1}{\beta}$$

$$v_+ = v_-$$

- Principio de corto

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

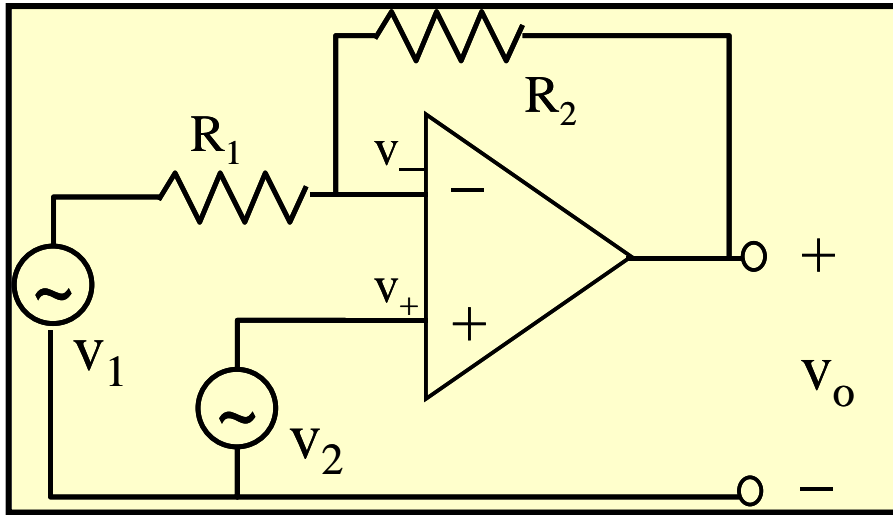
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

<http://www.dte.uc3m.es>

dte Tecnología

El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Ejemplo básico: Configuraciones inversora - no inversora



Recordando: Teorema de Superposición
(Aditividad en circuitos electrónicos)

La corriente (I) ó tensión (V) a través de un elemento de una red lineal se calcula:

- ✓ **Sumando**
- ✓ las contribuciones de **cada una de las fuentes** independientes (de I ó V) en la señal de salida, con las demás **anuladas**
 - Anular una fuente de V es cortocircuitarla (V=0).

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

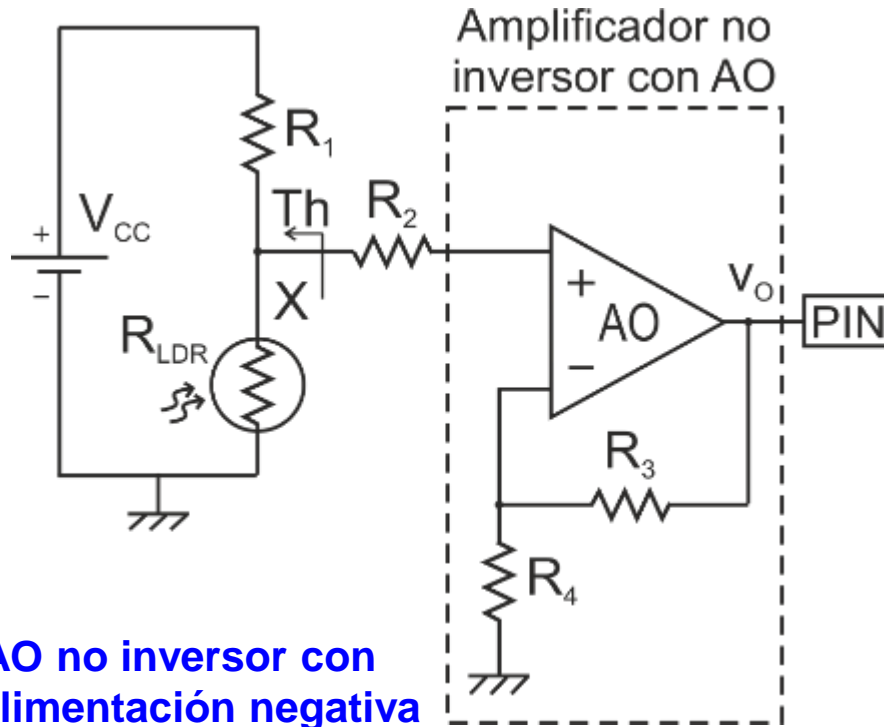
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

<http://www.dte.uc3m.es>

dte Tecnología

Problema 2: Activación de encendido de luces (1/2)

Para el circuito de activación de encendido de luces de la figura, se pide:



Amplificador no inversor con AO

AO no inversor con realimentación negativa

Datos:

$$R_{LDR} = \frac{A}{L^\alpha} \quad \text{donde} \begin{cases} R_{LDR} = \text{Resistencia (k}\Omega\text{)} \\ L = \text{Luminancia (lux)} \\ A \text{ y } \alpha \text{ son constantes} \\ A = 60 \text{ y } \alpha = 0,62 \end{cases}$$

$$R_1 = 47\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 1\text{k}\Omega$$

$$R_3 = 10\text{k}\Omega$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

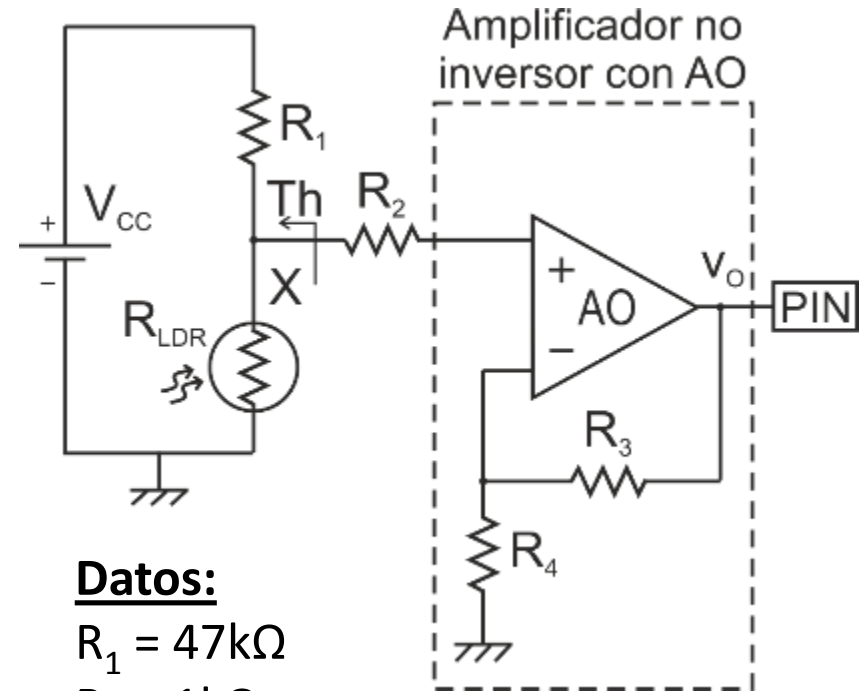
<http://www.dte.uc3m.es>

dte Tecnología

Problema 2: Activación de encendido de luces (2/2)

Para el circuito de activación de encendido de luces de la figura, se pide:

- b) Se conecta la salida del amplificador v_o , a un pin de entrada de un microcontrolador para activar el **encendido de las farolas de una calle**. La activación del encendido se realiza para una tensión mínima de 2,5V en el pin. ¿Se encenderán las farolas para una iluminación de **2000 lux**? ¿Y de **1000 lux**?
- c) ¿Hay problemas de acoplo entre ambas etapas? ¿Afecta R_2 en ello?



Datos:

$$R_1 = 47\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 1\text{k}\Omega$$

$$R_3 = 10\text{k}\Omega$$

$$R_4 = 1\text{k}\Omega$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

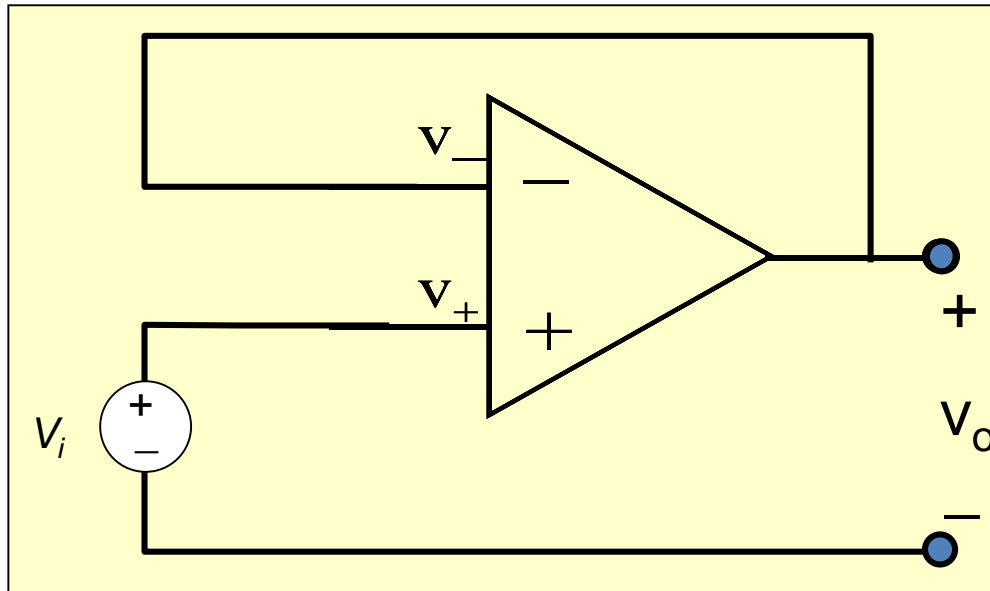
Cartagena99

<http://www.dte.uc3m.es>

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Ejemplo básico 2: el Buffer



$$V_o = V_i$$



Entonces, ¿para qué vale?

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

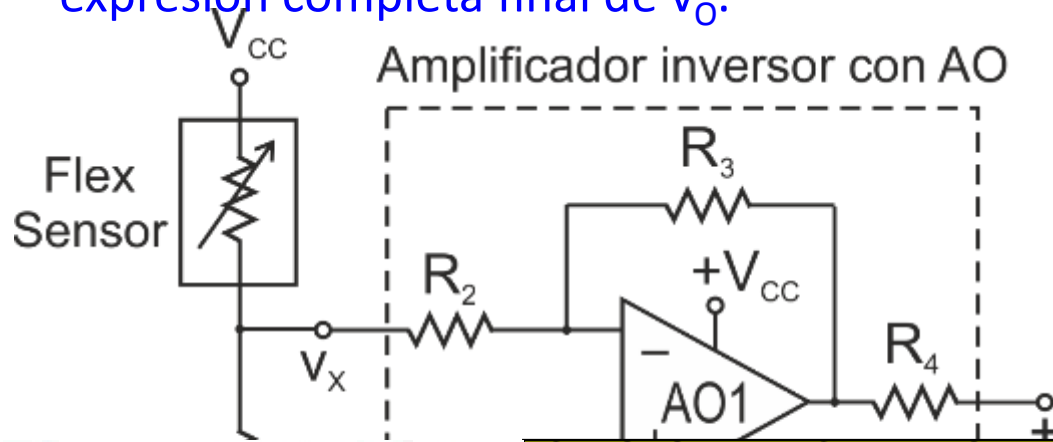
Problema 3: Guante con sensado de flexión (1/2)

Se dispone de un guante con sensado de flexión como el de la Figura 1. Cada sensor de flexión se modela como una resistencia cuyo valor varía en función de la curvatura del dedo de la mano (Fig 2); más curvatura implica más resistencia.

a) Demuestre que la tensión de salida v_o del circuito acondicionador del sensor invierte la señal de entrada, v_x (Fig 2). Calcule la expresión completa final de v_o .



Figura 1



Datos:

$$V_{CC} = 10V$$

$$R_1 = 1k\Omega$$

$$R_2 = 1k\Omega$$

$$R_3 = 10k\Omega$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

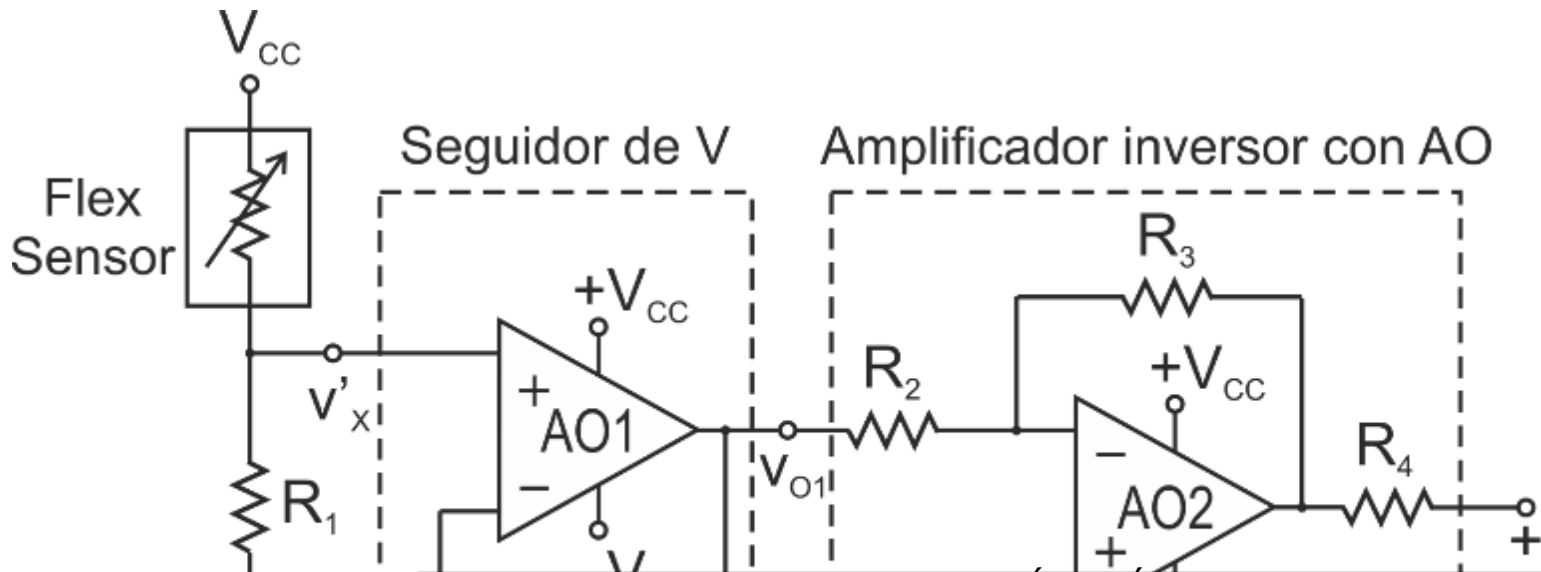
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Figura 2

Cartagena99

Problema 3: Guante con sensado de flexión (2/2)

- b) ¿Es correcta la conexión directa del amplificador inversor al punto v_x ? Justifique la respuesta calculando las impedancias de entrada y salida de ambas etapas.
- c) Calcule la nueva tensión de salida v_o del circuito acondicionador del sensor incluyendo la conexión del circuito seguidor de tensión (Fig 3). ¿Ha cambiado algo?
- d) ¿Afecta en la tensión de salida la conexión de R_4 en ambos circuitos?



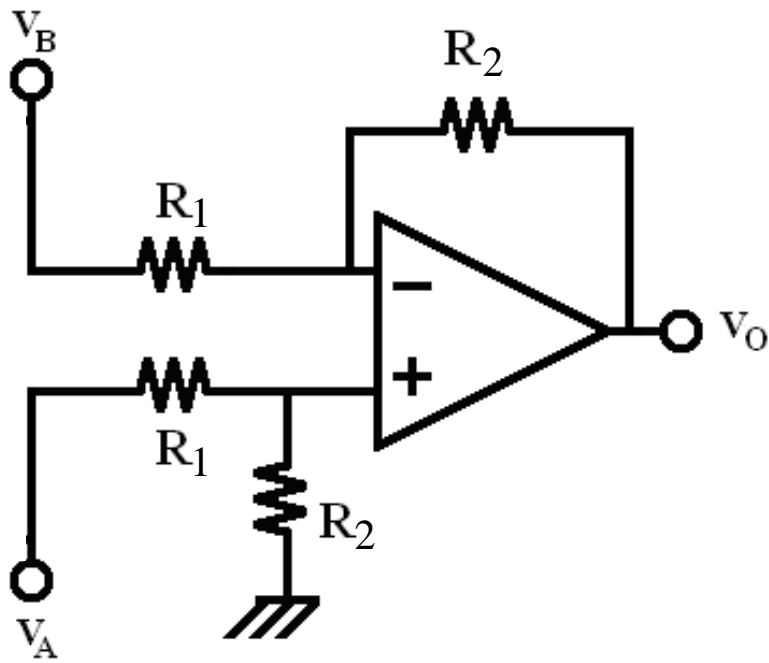
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

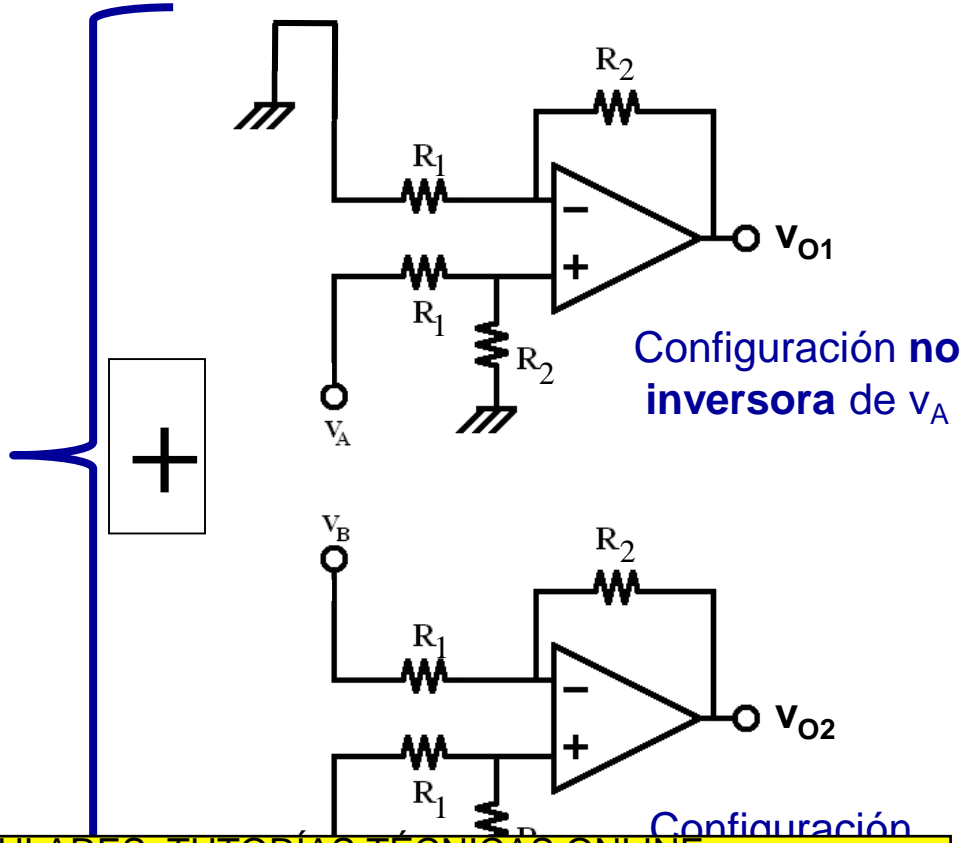
Cartagena99

El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Ejemplo avanzado: el amplificador diferencial



Principio de superposición



$R_2 (V_A - V_B)$

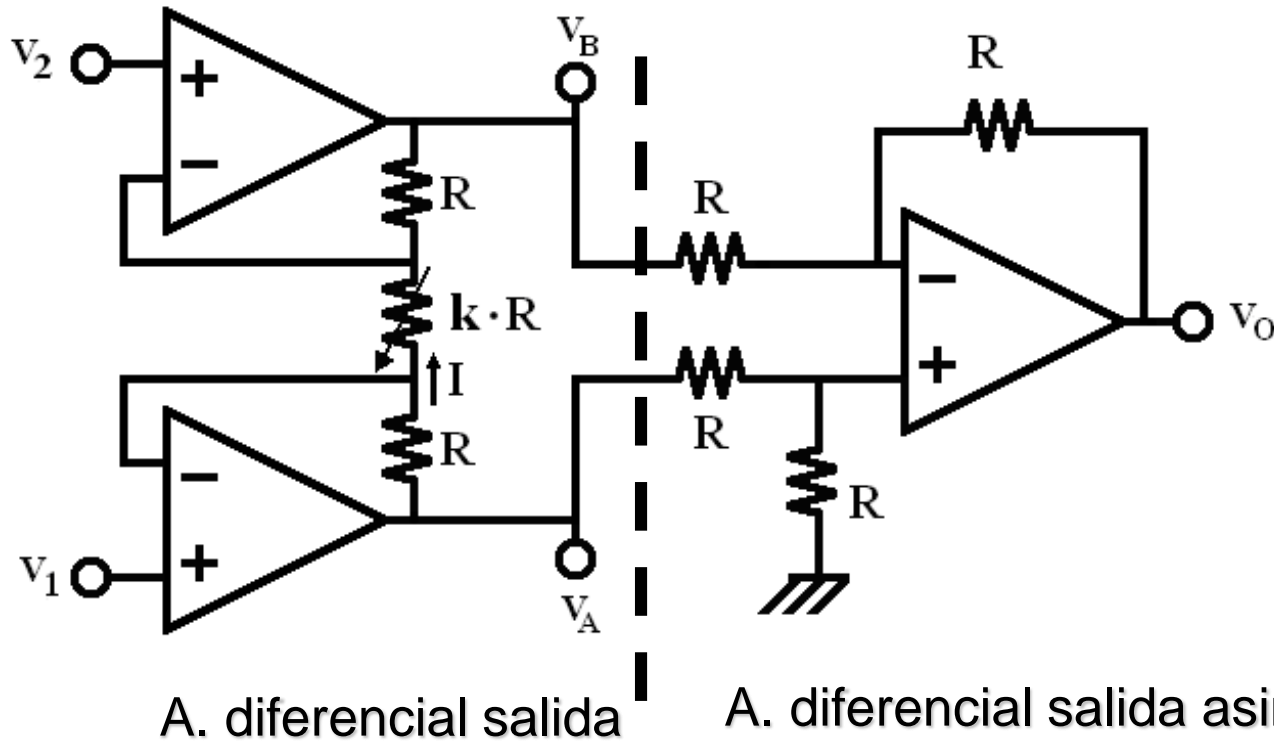
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

El AO en lazo cerrado: Realimentación negativa

Ejemplo avanzado 2: el amplificador de instrumentación



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

<http://www.dte.uc3m.es>

dte Tecnología

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.